Chapter (1)

Physics of MOSFET Transistor

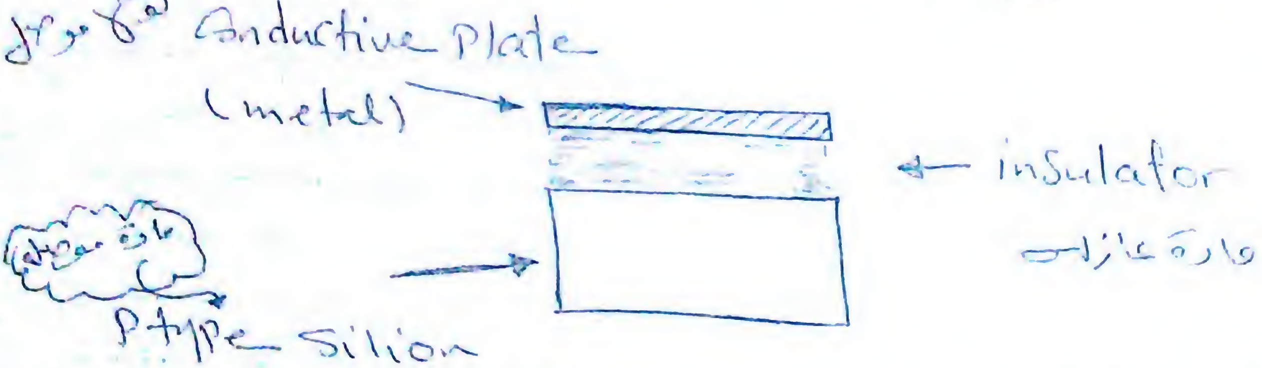
- MOSFET structure
- MOSFET operation
- MOSFET characteristics
- MOSFET models
  - Large signal model
  - Small signal model

لآ إِلَهَ إِلاَّ أَنتَ سُبْحَانَكَ إِنِّي كُنتُ مِنَ الظَّالِمِينَ

في هذا الباب سوف نتعرف على نوع جديد من أنواع Transistor وهو MOSFET، وهذا النوع له مميزات في الاستخدام عن BJT ، سوف يتم توضيحها في آخر الباب. وسوف يتم استعمال BJT من حيث التركيب (Structure) والعمل (Operation) وسوف يتم إيجاد model الخاص به لكي يتم عمل analysis له مثل BJT

تركيب
Structure of MOSFET

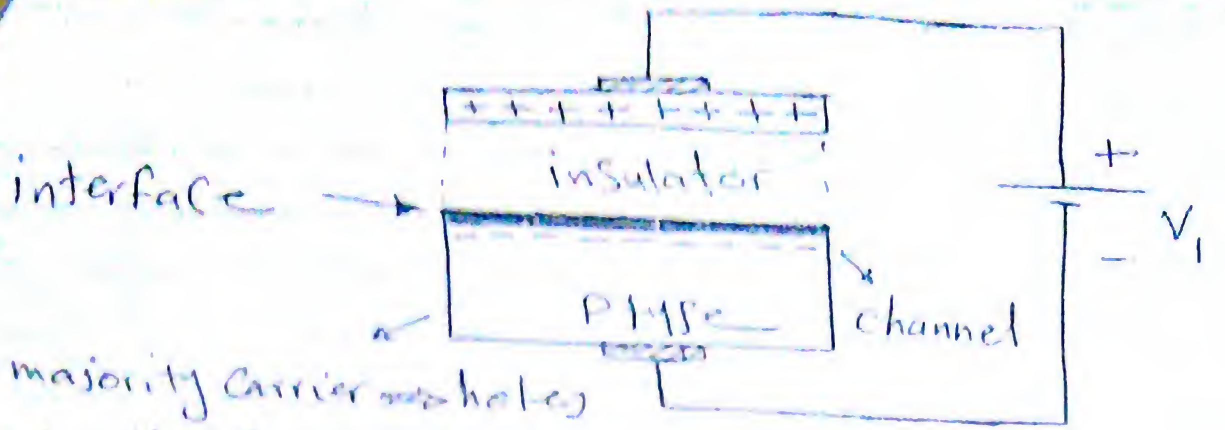
في البداية لكي نفهم التركيب والعمل سوف يتم شرح نموذج مصغر وبعد ذلك سوف يتم دراسة تركيب MOSFET.



نلاحظ من الشكل السابق أنه يعمل كـ (Capacitor)

What happen if a Potential difference is applied?

ماذا يحدث لو تم تسليط فرق جهد على الألواح أو الشكل السابق كالشكل التالي.



majority Carrier → holes
minority Carrier → electrons

- Positive charge is Placed on the top Plate

الشحنات الموجبة سوف توضع على اللوح العلوي.

- Positive charge attracts negative charge (electrons) from Ptype.

هذه الشحنات الموجبة سوف تجذب الإلكترونات السالبة الموجودة في

.Ptype

- Channel of free electrons may be created at the interface between the insulator and Ptype Silicon.

سوف تتكون قناة من الإلكترونات الحرة عند السطح الملامس

بين المادة العازلة ومادة السليكون.

وهذه الإلكترونات الكثيرة سوف تمثل good Conductive Path

ما (موصل جيد) لو كان الـ electron density الموجودة كبيرة في

هذه Channel.

the density of electrons in the Channel varies with V_1.

هنا كثافة تعتمد على الجهد (V_1)

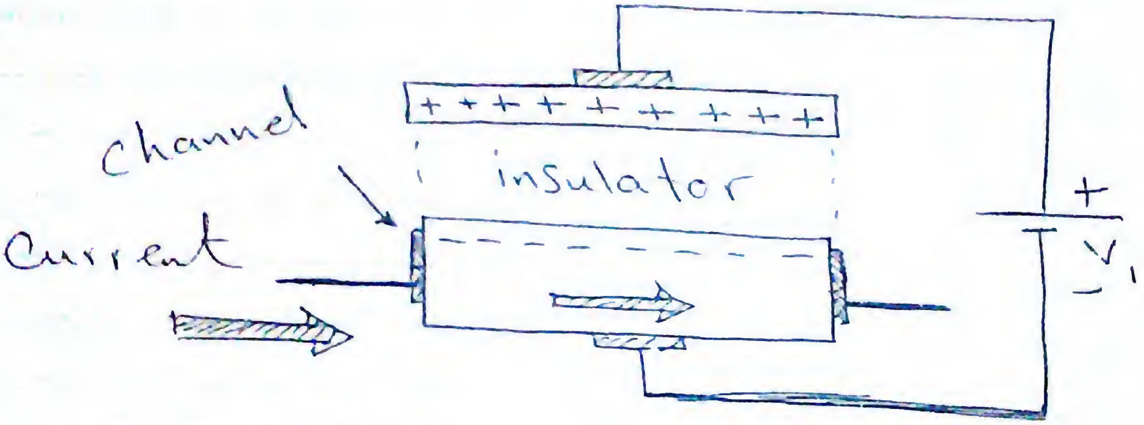
$$\therefore Q = C\,V$$

Q → الشحنة

C → Capacitance between two Plate

V → the Voltage difference between two Plates.

من القانون السابق لذلك الشحنة تعتمد على الجهد V



في الشكل السابق عند مرور التيار الموصل بين الطرفين يعتمد على وجود channel.

$\therefore V_1$ Control the Current by adjusting the resistivity of channel.

لذلك الجهد V_1 يتحكم في مرور التيار عن طريق ضبط المقاومة الخاصة بـ channel.

لذلك الشكل السابق يمثل

Voltage Controlled Current Source

$$V_1 \xrightarrow{\text{Controls}} I \text{ (Current)}.$$

$$\therefore \Phi = C_i \bar{V}$$

Controle

[illegible]

must be maximized

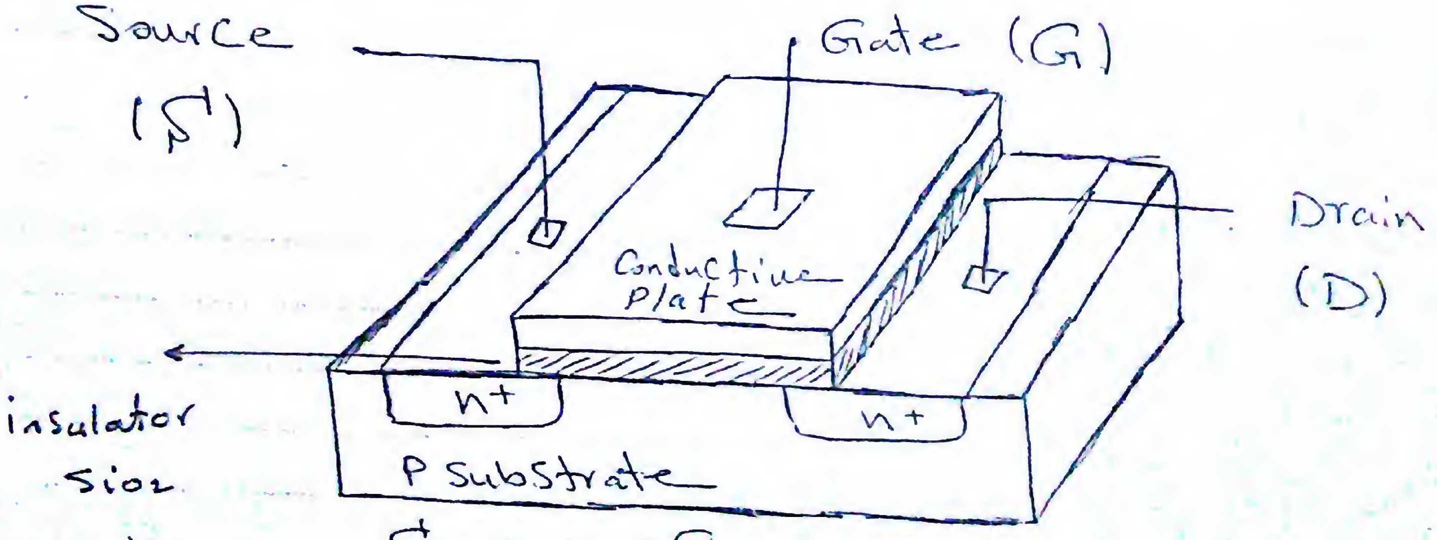
C_i ⇒ maximized (reducing the thickness of dielectric < 20 °A (today)) يكون أكبر ما يمكن سُمك

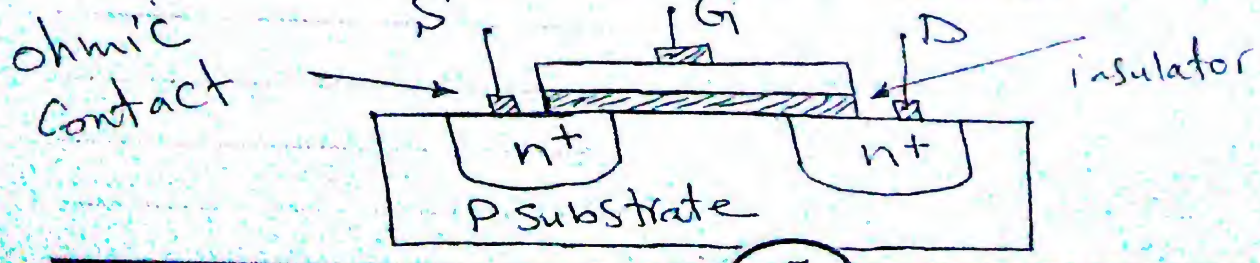
MOSFET تركيب ترانزستور سوف ندرس السابق لصعوبة توصيله

- **MOSFET Structure**

MOSFET

M → metal
O → oxide
S → Semiconductor
F → Field
E → effect
T → Transistor





نلاحظ من الشكل السابق انه يتركب من

- gate → Conductive plate لوح موصل
- Substrate → P type silicon

To allow current flow through it.

ده لي نسمع عنه انها هتكون بها channel.

- Source & Drain

heavily doped n type regions (n^+)

عبارة عن n type، بتركيز ذات doping عالي.

Source → Provide charge carriers

هو اللي يعطي الشحنات.

Drain → absorb charge carriers

سوف يمتص الشحنات القادمة من Source

- eletrical insulator material → silicon dioxide (SiO_2) عازلة كهربائيا بين gate & Substrate.

ملحوظة: في الشكل السابق الـ channel التي ستكون سوف تتكون من سالب (electrons) ولذلك يسمى هذا النوع

N MOSFET ≡ n channel MOSFET

Symbol of NMOSFET

نلاحظ وجود هذا الفراغ ليعبر ←
ان Gate معزول .

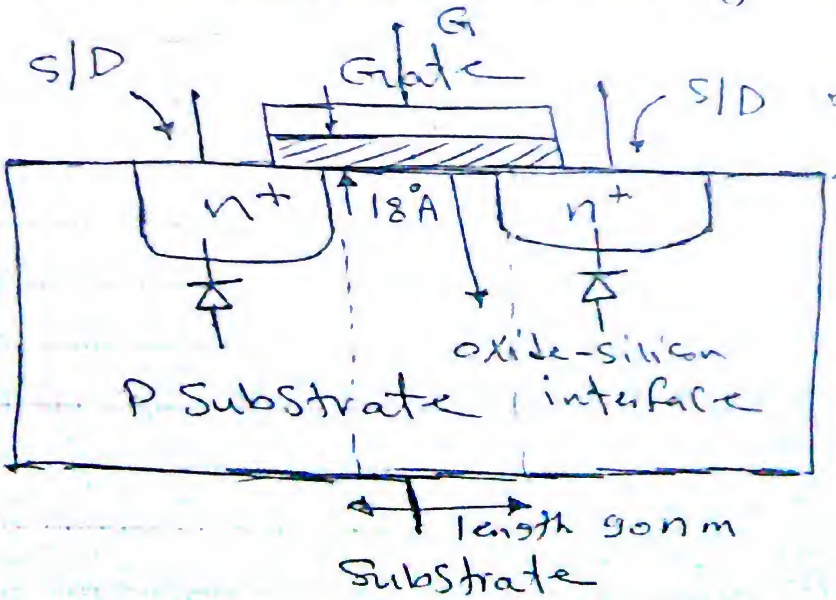
لـ هذا السهم موجود عند Source

Notes . ملاحظات

- gate Plate ⇒ good Conductor (موصل جيد) in fact (في الحقيقة) realized by (مصنوع من) Poly silicon (low resistivity)
- dielectric layer between the gate and Substrate ⇒ (عازل) Silicon dioxide (SiO_2) مادة عازلة .

. نلاحظ أن Drain & Source تشكل مع Ptype

- PN Junctions (or) Diodes ⇐ Substrate



⇒ طرفي الترانزستور (Source | Drain) ممكن أن نبدل الطرفين .

نلاحظ من الشكل السابق أن الـ MOSFET له أربعة أطراف

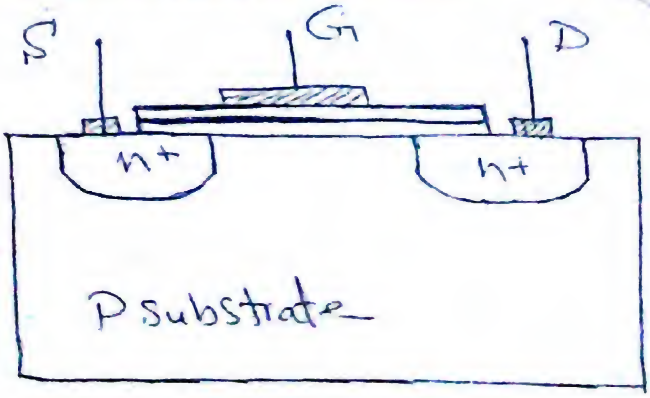
Source & Drain & Gate & Substrate ⇐ (terminals)

الأربع أطراف

- For Proper operation of transistor must be these Junction reversed biased.

أي عمل هنا MOSFET بطريقة صحيحة لابد أن تكون هذه الـ Junctions في وضع reverse . وهذا يتم عن طريق توصيل Substrate ← Source . حيث أن دائما D أعلى من الجهد من S . وبذلك يكون الـ MOSFET له ثلاثة أطراف بدلاً من أربعة أطراف.

Operation of MOSFET



- MOSFET Conduct Current between Source and Drain if the channel of electrons is Created

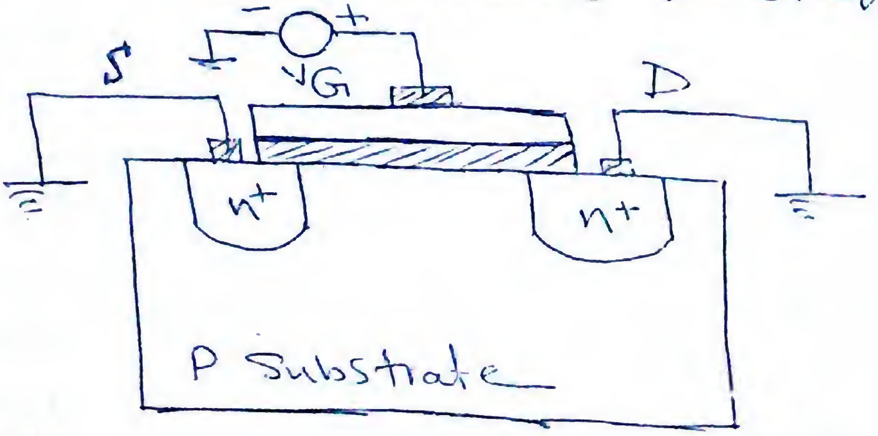
يتم توصيل إلكترونات بين S و D عندما تتكون channel.

- Channel making when the gate Voltage sufficiently Positive هنا channel سوف تتكون لما الجهد الموجب على Gate موجب كافي لتكوين هذه channel.

ملحوظة : دائماً Gate Current يساوي صفر لأن ال Gate معزولة عن substrate بواسطة SiO2 لكي نمنع الكال تفريغ أو تسرُّب.

Source and drain are Ground and applied a Positive Voltage to the gate.

S & D ⟹ Ground & G ⟹ Positive Voltage



تنشئ

- VG rises Positive charge on the gate

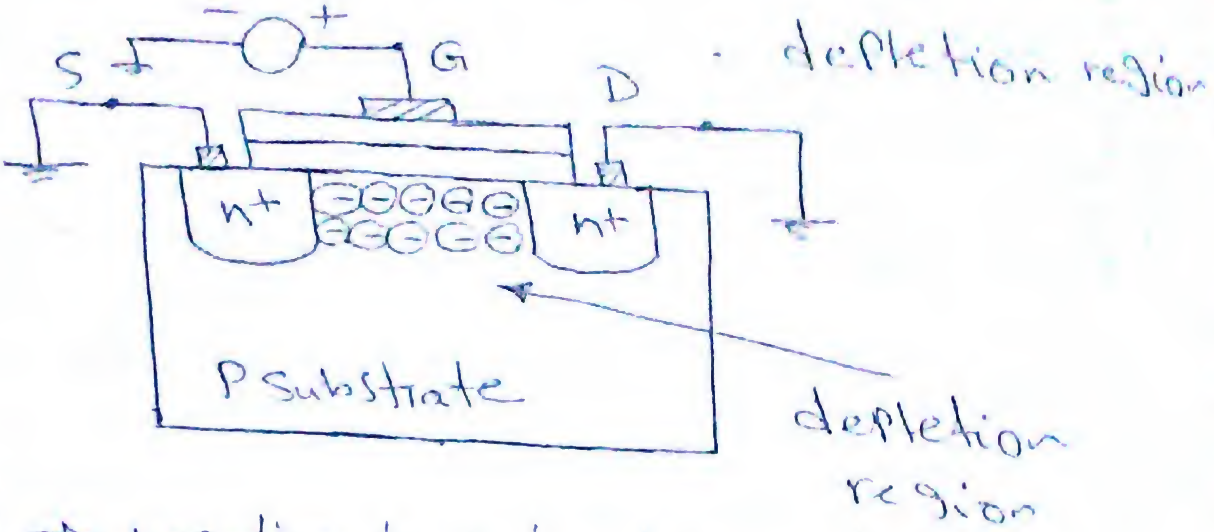
عند تحريك الـ VG على gate شحنة موجبة

تطرد

- VG increased from Zero the Positive charge on the gate repels the holes in the Substrate

so that exposing negative ions and creating depletion region.

مع زيادة الجهد VG ، الشحنات الموجبة الموجودة على Gate سوف تطرد holes في substrate وتترك الأيونات السالبة مكونة



ملحوظة
Note ⇨ negative ions immobile charge
شحنات غير متحركة

وهنا لا يوجد channel لذلك لا يوجد مرور تيار -

no current can flow from Source to Drain

∴ MOSFET is off

- Can the Source substrate and drain substrate Junctions carry current in this mode?

هل PN Junctions اللي تكلمنا عليها ممكن ان تمرر تيار -

لتجنب
To avoid this effect substrate tied to zero
مربوط

∴ Diodes not forward Biased

- What happens as VG increased?

ماذا يحدث مع زيادة الجهد VG.

more negative ions are increased so that

[illegible] الأعمق

region under the oxide becomes deeper.

depletion سوف تزداد الأيونات السالبة وبذلك تزداد
region

- Does this means the transistor never turns on? . off هل معناه أن MOSFET يظل دائماً

لا

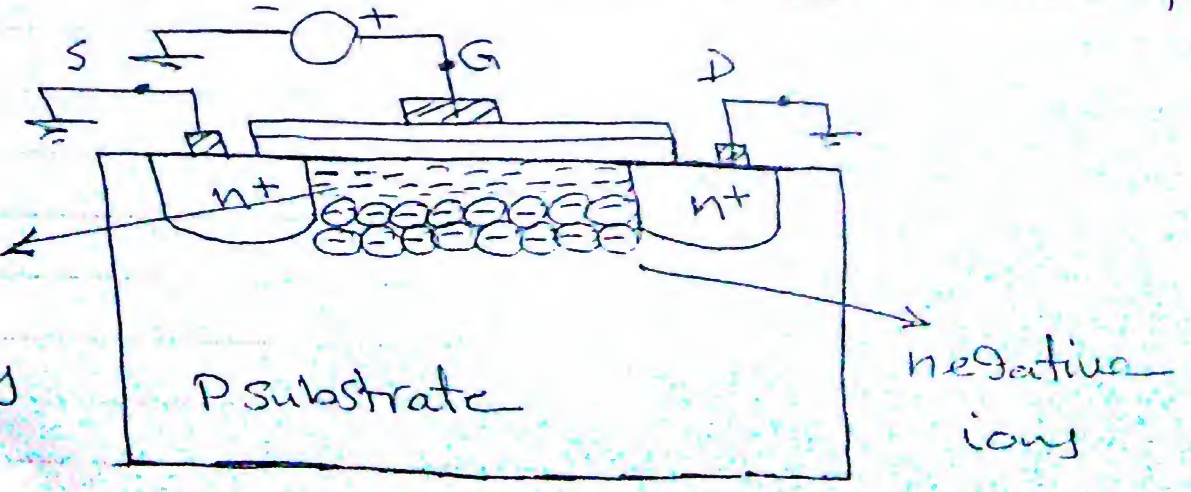
No. if VG becomes sufficient Positive

عندما يصبح VG قيمة موجب كافي

∴ free electrons are attracted to the oxide

تشكل

silicon interface forming a conductive channel. .channel الالكترونات الحرة سوف تنجذب مشكلة



We say the MOSFET on

the gate Potential at which the channel begins To appear is called "threshold Voltage" (V_{TH})

الجهد الحرج

الجهد ال V_G الذي عنده يبدأ ظهور او تكون ال Channel يسمى V_{TH}

V_{TH} ⇒ range (300mV − 500mV)

- the Current that will flow through channel when a voltage V_D is applied

سوف يمر تيار خلال ال channel عندما يتم تطبيق جهد ال Drain

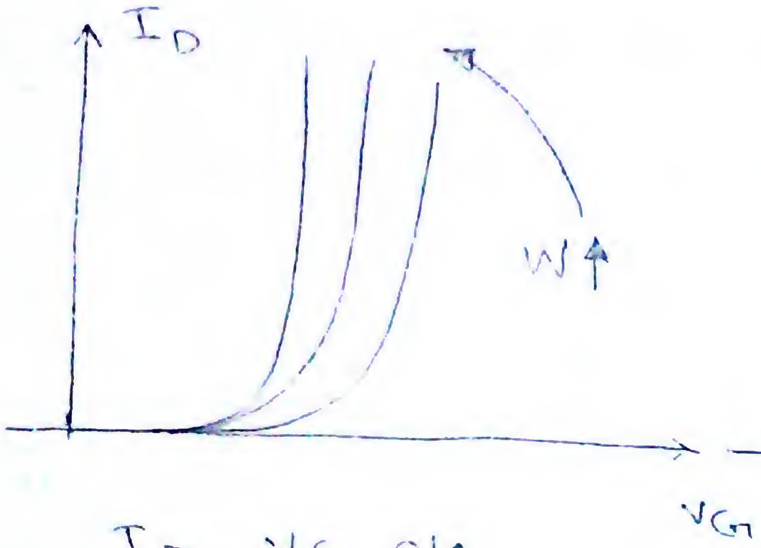
How does the gate width (عرض) impact the I-V characteristics ?

$\therefore A = W \times h$

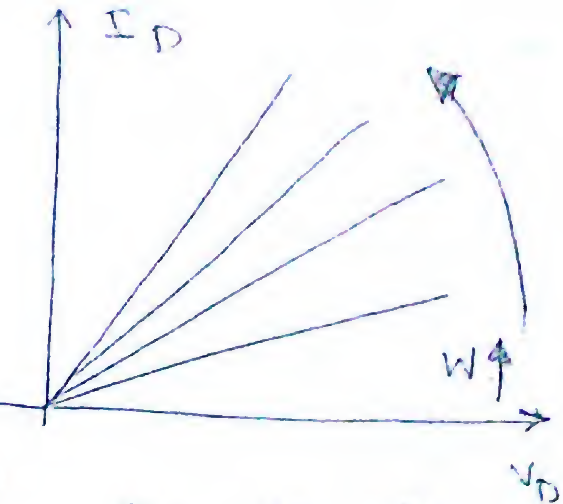
channel مساحة ← · channel عرض

$\therefore R_{on} = \frac{\rho L}{A}$

$\therefore W \uparrow \quad A \uparrow \quad \therefore R_{on} \downarrow \quad \therefore \text{Slope} \uparrow$



$I_D - V_G$ C/C



$I_D - V_D$ C/C

⇨ Channel Pinch off

this effect arises (تنشأ) from the gradual (تدريجي) voltage drop along the channel resistance.

هذه الظاهرة تحصل من أن الجهد الموجود على طول channel بيقل مع

تدريجياً كل ما أروح.

⇨ MOSFET as a variable resistor

channel between S and D as resistor. the value of this resistor changes with Gate voltage.

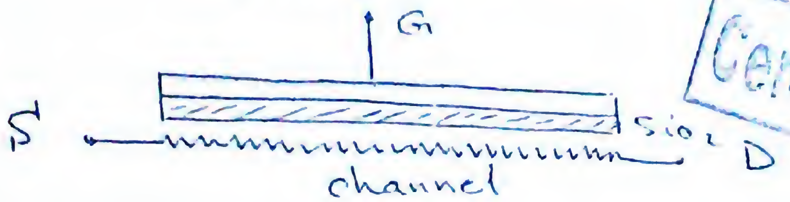
الـ channel بين (Source) و (Drain) عبارة عن مقاومة متغيرة القيمة وقيمتها تتغير تبعاً لـ VG (Gate Voltage)

VG ↑ ∴ desity of electron ↑

∴ channel resistor ↓

(i.e) MOSFET is Voltage dependent resistor

MOSFET عبارة عن مقاومة تتغير بالجهد .

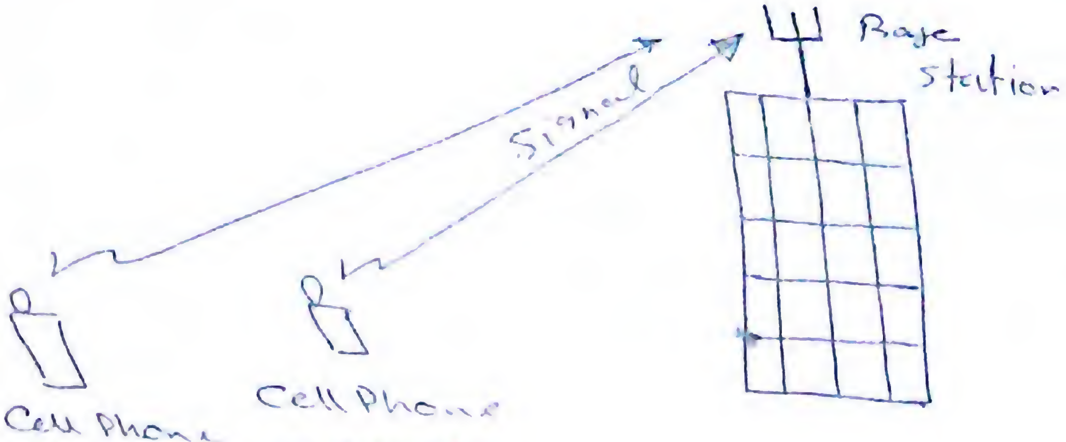


EX.1.1 الحل

in the Vicinity of a wireless base station the signal received by a Cell Phone may become very strong. Possibly (ممكن) "saturating" the circuits and Prohibiting (تمنع) Proper operation (العمل الصحيح). Devise (اخترع) a variable gain circuit (صمم دائرة) that lowers ([illegible]) the signal level as the cell phone

اقترب
approaches the Base station.

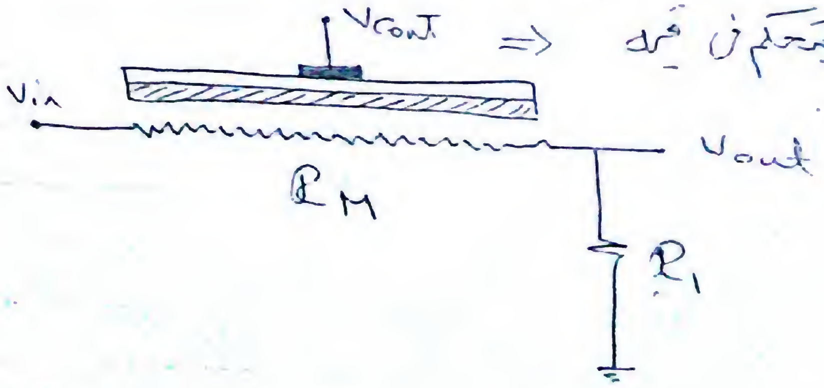
Solution



كلما اقترب الإشارة أقوى.

هذا المثال توضيحي بين إستخدام MOSFET ك Variable resistor
هذا المحمول كلما اقترب من البرج سوف تكون الإشارة أقوى مما يؤدي
إلى دمار أو تلف الدوائر الموجودة داخل البرج لذلك ينصح بإستخدام
دائرة تعمل على خفض هذا الإشارة. لذا نستخدم (MOSFET)
ك مقاومة متغيرة.

Using MOSFET as Voltage Controlled resistor



هنا الجهد يتحكم في قيمة المقاومة

$$\therefore V_{out} = V_{in} * \frac{R_1}{R_M + R_1}$$

$\therefore V_{out} \downarrow$ $\therefore$ density of election in channel $\downarrow$

$\therefore R_M \uparrow$ $\therefore V_{out} \downarrow$

(attenuator) ← دي دائرة تسمى

Note:-

may be using MOSFET as Voltage dependent resistor in " Variable gain Amplifier "

ممكن استخدام MOSFET كـ مقاومة متغيرة في دائرة Amplifier

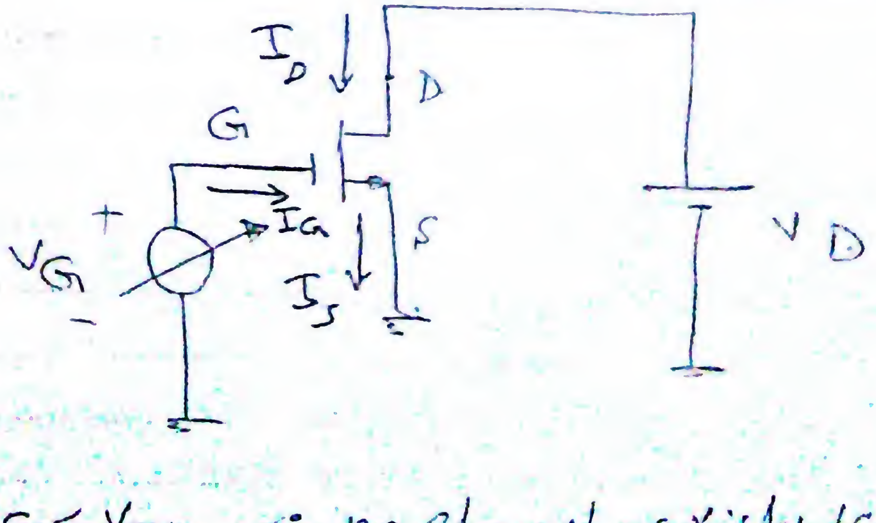
عشان ممكن الحصول منه على (gain) متغير

⇨ MOSFET characteristic Curve

* ID - VG characteristic Curve

"دائماً"

$I_G = 0$

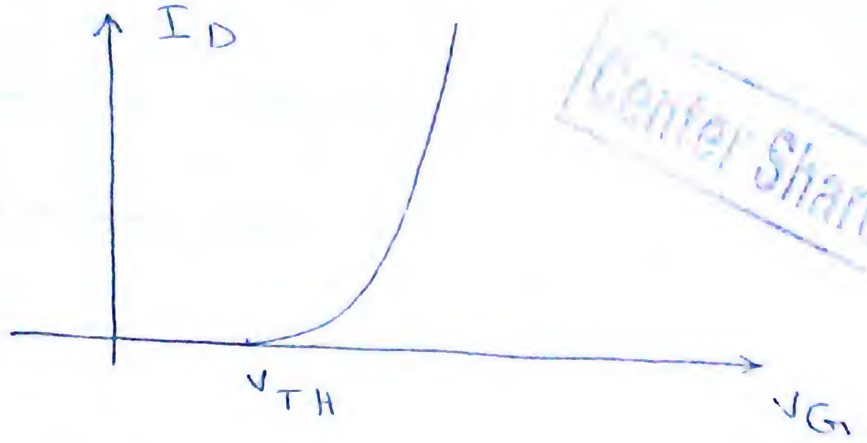


* if $V_G < V_{TH}$ $\therefore$ no channel exists (channel لا يوجد)

∴ MOSFET off

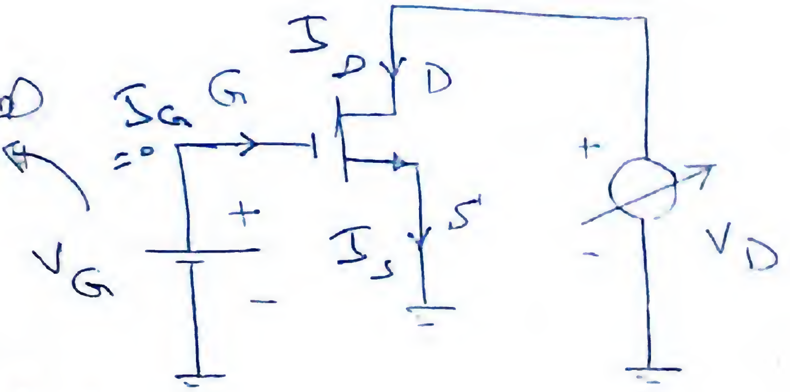
∴ $I_D = 0$ ⟶ (V_D) أي قيمة

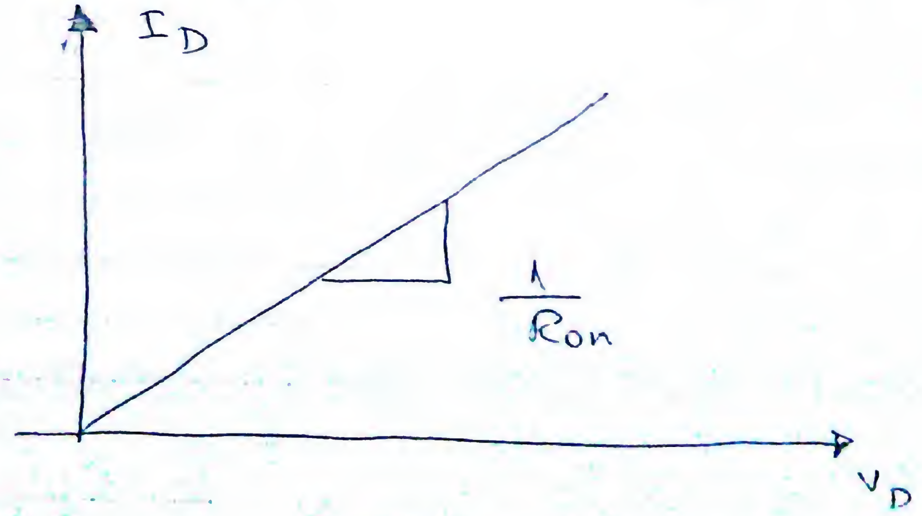
* if $V_G > V_{TH}$ ∴ $I_D > 0$



* $I_D - V_D$ characteristic curve

هنا أزود أكبر V_{TH}





Source-Drain Path [illegible] (Simple resistor)

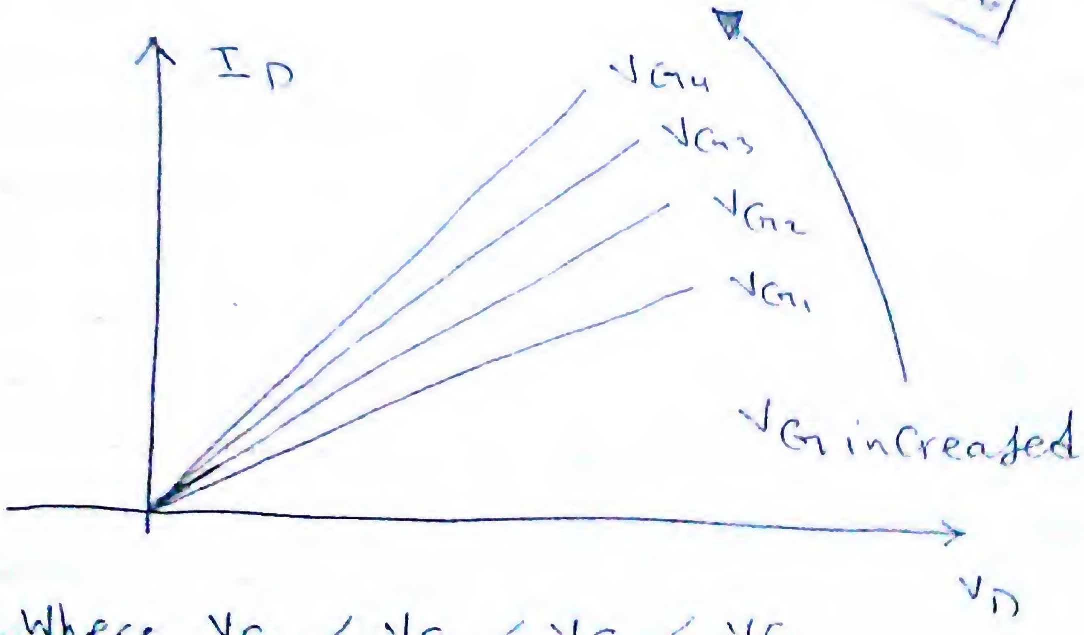
R_{on} = "on resistor" of MOSFET

on-resistor (R_{on}) = resistor between the source and drain. (Drain) & (Source) [illegible]

* What happen for I_D & V_D c/c when V_G is increased. ماذا تكون المنحنى لما نغير (V_G)

∴ $V_G \uparrow$ ∴ electron density of channel $\uparrow$

∴ $R_{on} \downarrow$ ∴ Slope = $\frac{1}{R_{on}}$ $\uparrow$



Where $V_{G1} < V_{G2} < V_{G3} < V_{G4}$

<u>Note</u>:- How about the Transport mechanism in MOSFET ? كيف يتم انتقال الـ MOSFET

حيث أن لوجود جهد على الطرفين (D) و (S) هي لوجود
مجال كهربي على طول الـ (channel) لذلك تتم حركة عن طريق (drift)

EX. 1.2

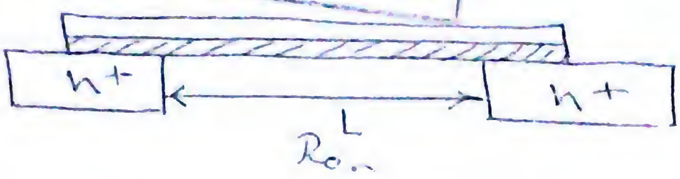
sketch $I_D < V_G$ and $I_D < V_D$ characteristics for (a) different channel lengths.

سمك

(b) different oxide thickness.

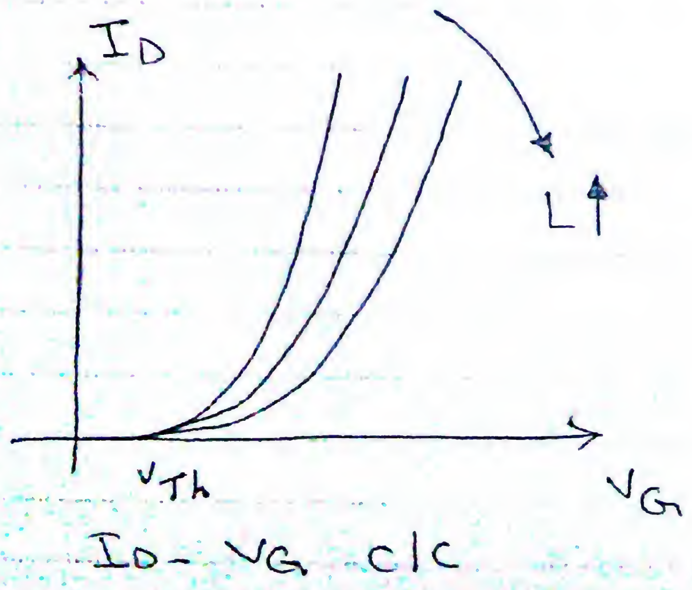
Solution

(a)

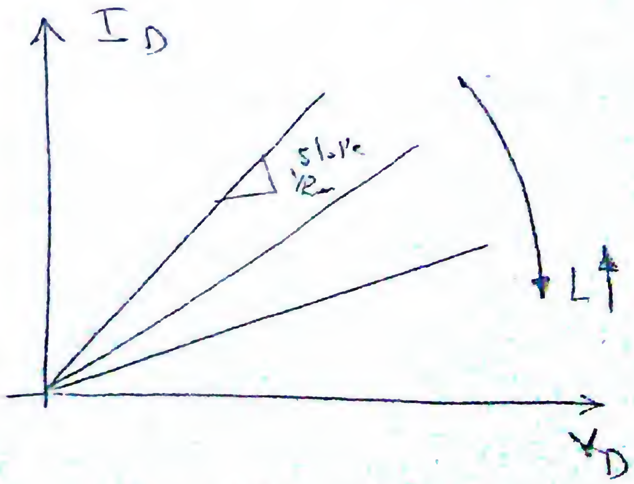


$$R_{on} = \frac{\rho L}{A} \rightarrow \text{channel length}$$

$\therefore L \uparrow \quad R_{on} \uparrow \quad \therefore \text{Slope} = \frac{1}{R_{on}} \downarrow$



$I_D - V_G$ C/C

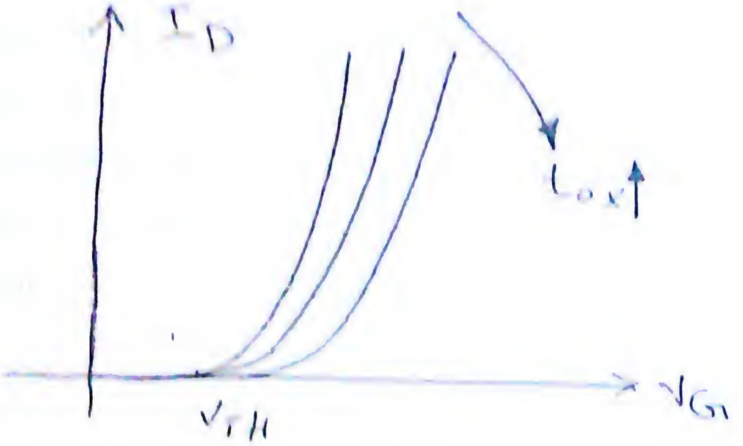


$I_D - V_D$ C/C

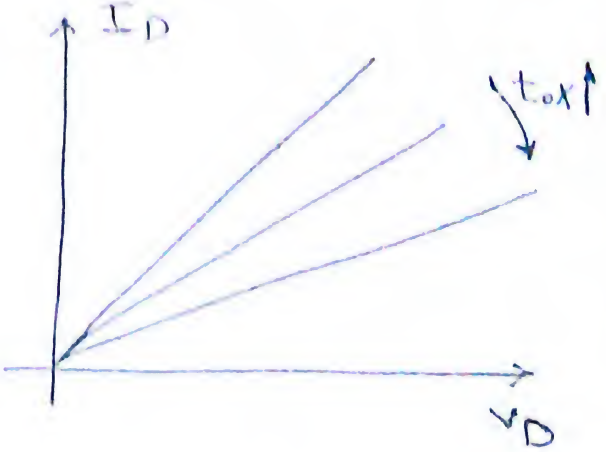
(b) different oxide thickness

t_{ox} ↑ ⇒ C ↓ (Capacitance between the Gate and Silicon substrate

∴ $I_D = C V$ ↓ ⇒ R_{on} ↑ ⇒ slope ↓



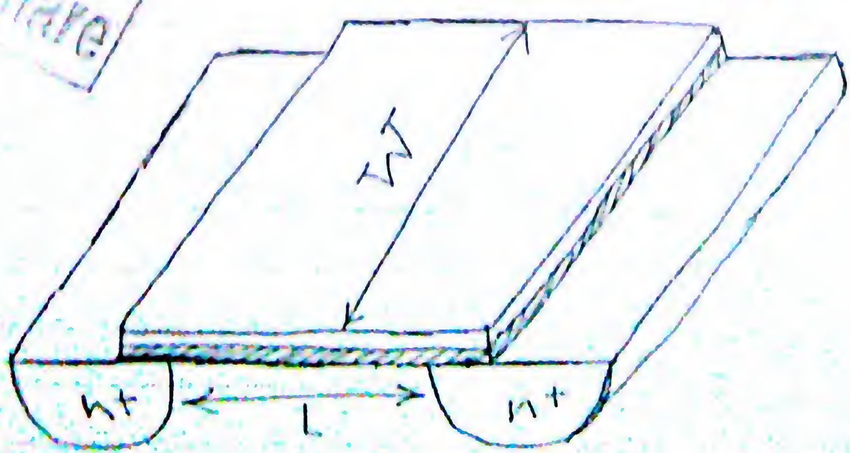
$I_D - V_G$ c/c



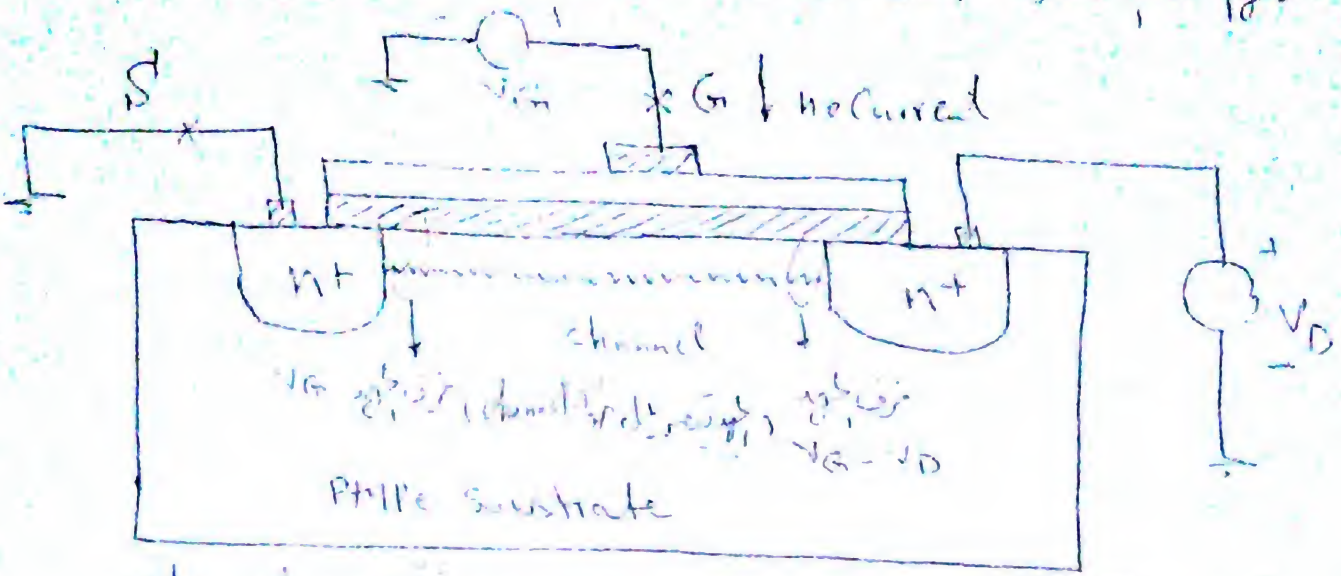
I_D V_D c/c

W ⇐ (c/c) من الأشياء الأخرى الي تحكم في شكل x

W ⇒ width of Transistor
or Gate width.



To understand this effect . نوضح الفكرة

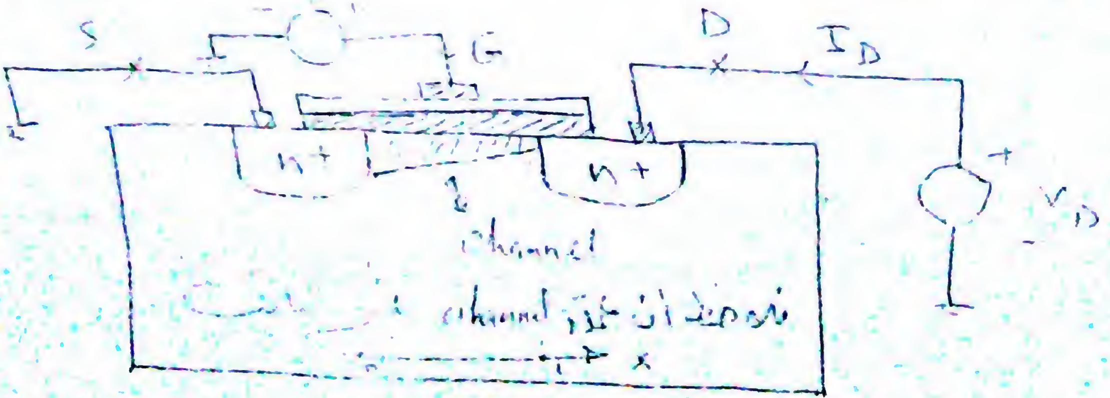


هيحصل ايه لما $V_G > V_{TH}$ هيتكون الـ channel .

When $V_G > V_{TH}$ is MOSFET acts as voltage depended resistor.

يعني الـ MOSFET اتحول كـ مقاومة تتحكم فيها بالجهد ونقدر اتحكم فيها عن طريق ان اغير عرض الـ channel عن طريق اني ازود او اقلل الجهد اللي بطبقه على الـ D .

وحيث ان الجهد على (Gate) (Gate voltage) ثابت (Constant) ومن هنا نلاحظ ان channel depth (عمق الـ channel) غير منتظم (nonuniform) على طول الـ (channel) من ناحية الجهد بين الـ Gate و substrate



$(V_G - V(x)) > V_{TH}$ [illegible] channel [illegible] ملحوظة

[illegible]

When V_D (increased) ↑

∴ the channel depth decreases at drain

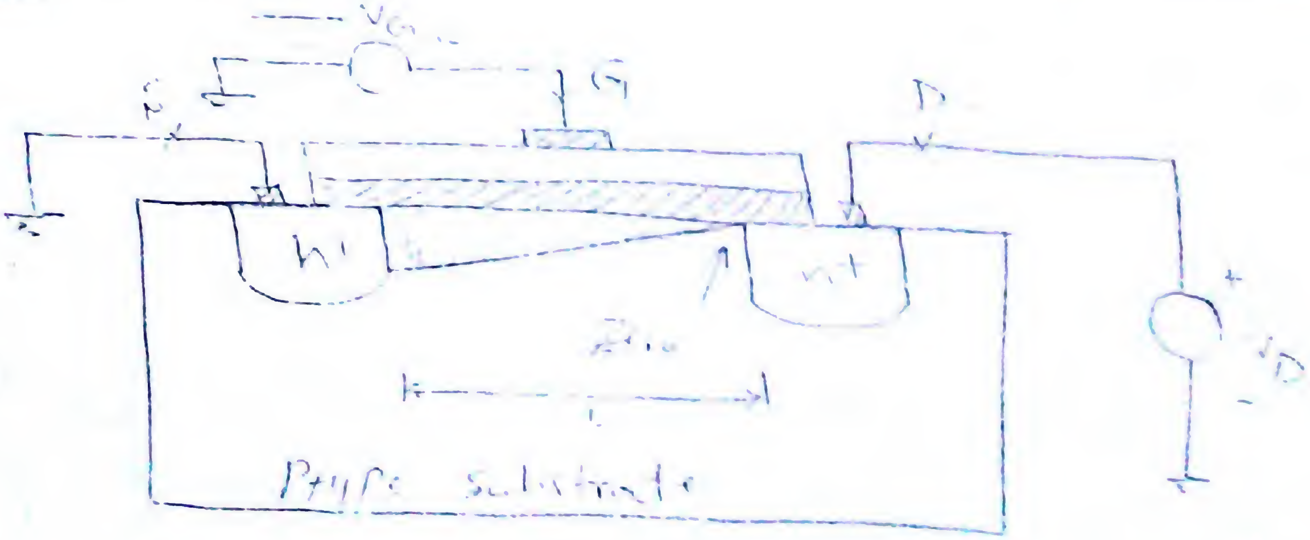
When $V_G - V_D = V_{TH}$

∴ the channel depth at the drain end decreases to almost zero

[illegible] (D) [illegible] channel [illegible] Drain [illegible]

[illegible] $(V_G - V_D) = V_{TH}$ [illegible] channel [illegible]

∴ the channel is said to be Pinched off

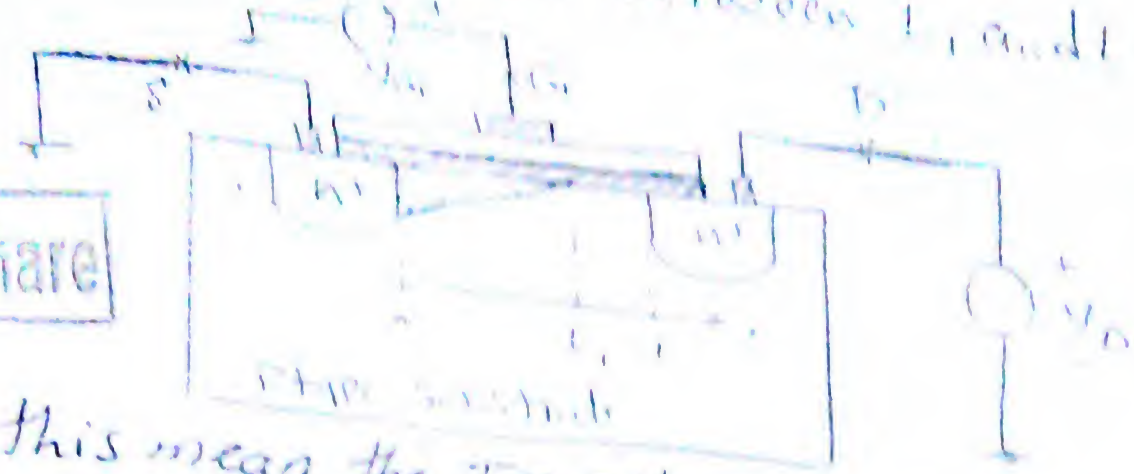


Pinch off at $\boxed{V_G - V_D = V_{TH}}$

or $\boxed{V_D = V_G - V_{TH}}$

∴ When $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$

∴ MOSFET No channel between S and D



Does this mean the Transistor Cannot Conduct Current ?

[illegible] MOSFET [illegible]

No MOSFET conducts

[illegible] channel [illegible]

[illegible]

(electric field) [illegible]

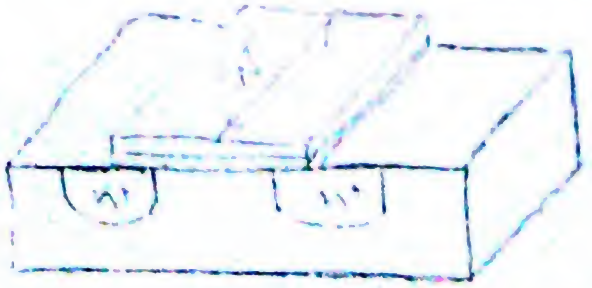
[illegible] Pinch off

ملاحظة : [illegible] (MOSFET) [illegible]

Constant Current Source) [illegible] I_D [illegible]

⇨ Derivation of I-V characteristics

* Channel Charge density.



require an expression for channel charge (free electrons) per unit length = channel density

[illegible] charge per channel (per unit length) —— [illegible]

channel density يعني

$$\text{channel density} = \frac{\text{Channel charge}}{\text{unit length}}$$

$\therefore Q = C V$

C = Gate capacitance per unit length

V = Voltage difference between Gate and channel

$\therefore Q \Rightarrow$ charge density. ([illegible])

C_{ox} = gate capacitance per unit area (F/m^2)

المساحة اللي بين الـ Gate و Channel

$\therefore C = W C_{ox}$

C → capacitor per unit length

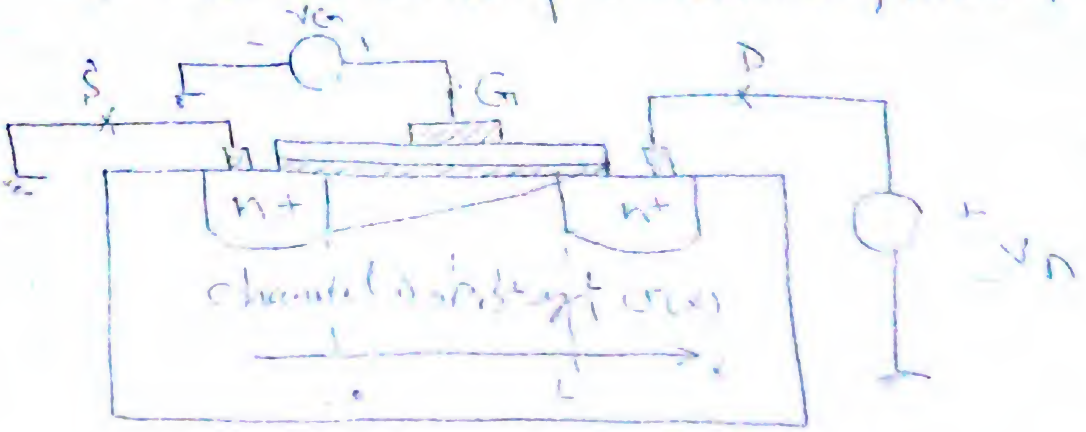
W → width of MOSFET

ملحوظة: خلي بالك إن غالباً الـ S بيتوصل بـ (Ground)

$\therefore V_G = V_{GS}$ و $V_D = V_{DS}$

زي ما بنكتب كده ! V_{GS} و V_{DS}

Q charge density = Coulomb / meter



$(V_{GS} - V(x) - V_{TH}) \rightarrow$ channel يعني ان الجهد في

$$\therefore Q(x) = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}]$$

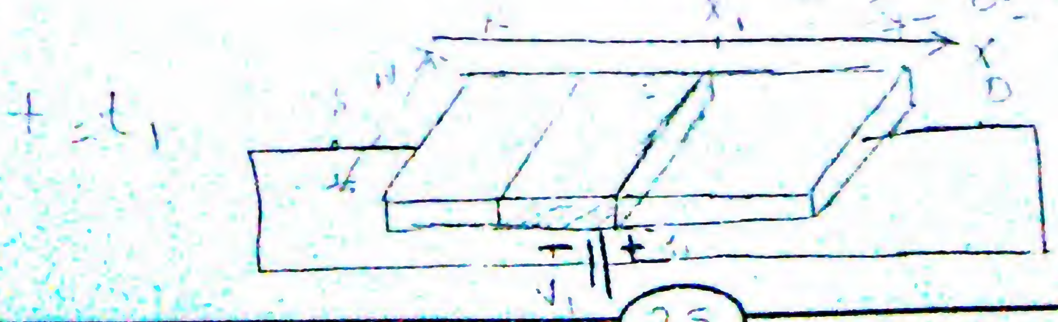
$$0 < V(x) < V_D$$

⇨ Drain Current

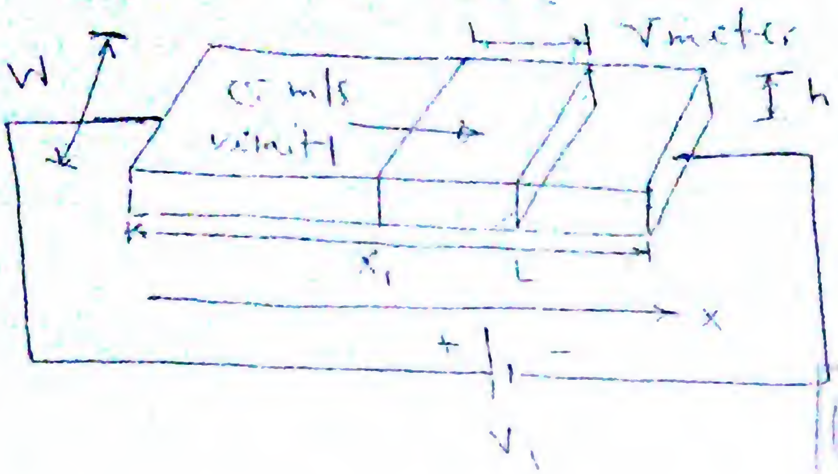
what relation between the mobile charge density and the current ? ما هي العلاقة بين كثافة الشحنة والتيار

assume a bar of semiconductor having a uniform charge density (per unit length) equal to Q and carrying current I. نفرض عندي قطعة من اشباه الموصلات لها كثافة شحنة

ولها Q ويمر بها I



$t = t_1 + 1sec$



∴ I = Total charge that Passes through the Cross section of the bar in one second

إن عدد من الشحنات اللي بتعدي خلال المقطع = [illegible] في ثانية واحدة

$$\therefore I = \frac{Q \times V}{T = 1sec} \longrightarrow$$ ليه

Q → الشحنة الكلية المارة

$$\therefore \sigma = \frac{V}{T = 1sec}$$ سرعة، مسافة، زمن

$$\therefore \sigma = V$$

$$\therefore I = Q \times \sigma$$

Q ↓ الشحنة

σ ↘ سرعة

$$I = Q \times V \longrightarrow *$$

ده التيار اللي بيمر في MOSFET ⇐ (drift Current)

$$\therefore \sigma = -\mu_n E \longrightarrow \text{electric field}$$
↳ electron mobility

$$\therefore \sigma = +\mu_n \frac{dV(x)}{dx} \longrightarrow (1)$$

$$\therefore Q(x) = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \longrightarrow (2)$$

من المعادلات (1) ، (2) ، (*)

$$\therefore I_D = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \mu_n \frac{dV(x)}{dx}$$

المعادلة دي بتربط الـ I_D بالـ terminal Voltages (V_{GS} & V_{DS})

من المعادلات اللي فوق

$$I_D \times dx = W C_{ox} [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \mu_n \, dV(x)$$

$$\therefore \int_{x=0}^{x=L} I_D \, dx = \int_{V(x)=0}^{V(x)=V_{DS}} \mu_n C_{ox} W [V_{GS} - V(x) - V_{TH}] \, dV(x)$$

$$\therefore I_D \times L = \mu_n C_{ox} W \left[V_{GS} V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} - V_{TH} V_{DS} \right]$$

$$\therefore I_D \times L = \mu_n C_{ox} W \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

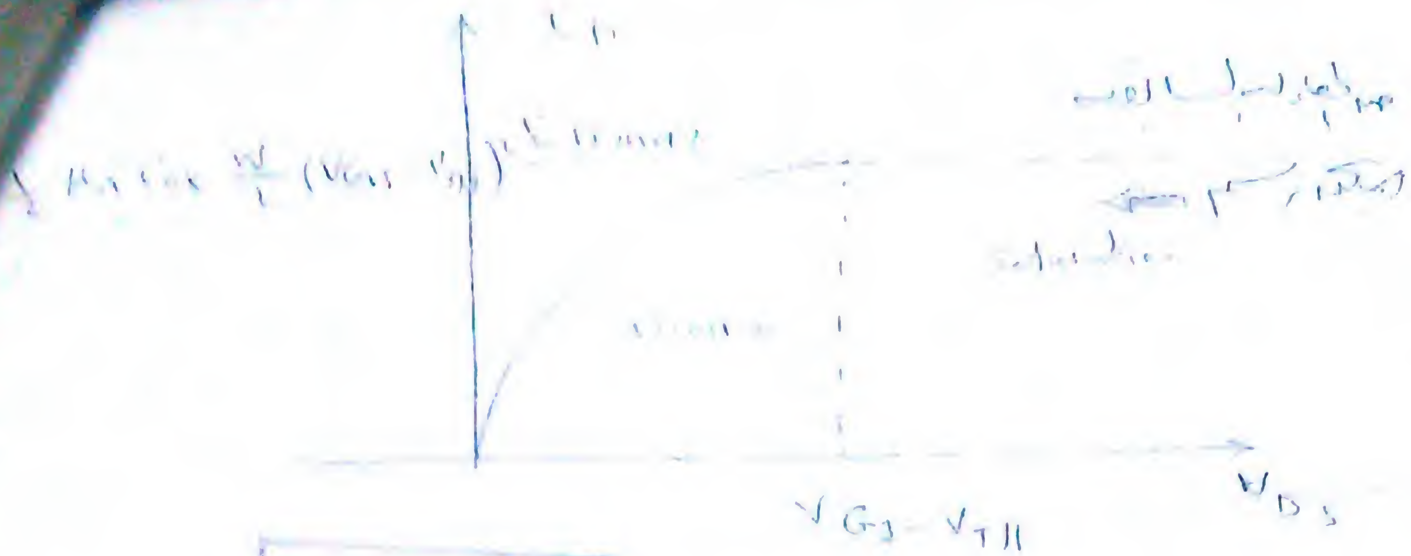
$$\therefore I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left[2 (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

$$I_D \propto \left(\mu_n \; \& \; C_{ox} \; \& \; \frac{W}{L} \right)$$

[illegible]

W/L Called (aspect ratio)

$W/L = \frac{\text{عرض}}{\text{طول}}$ • يتميز كل ترانزستور بيها



(Pinch off) عند

at Pinch off $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$

[illegible]

$$\therefore I_{max} = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{TH})^2$$

EX. 1.3

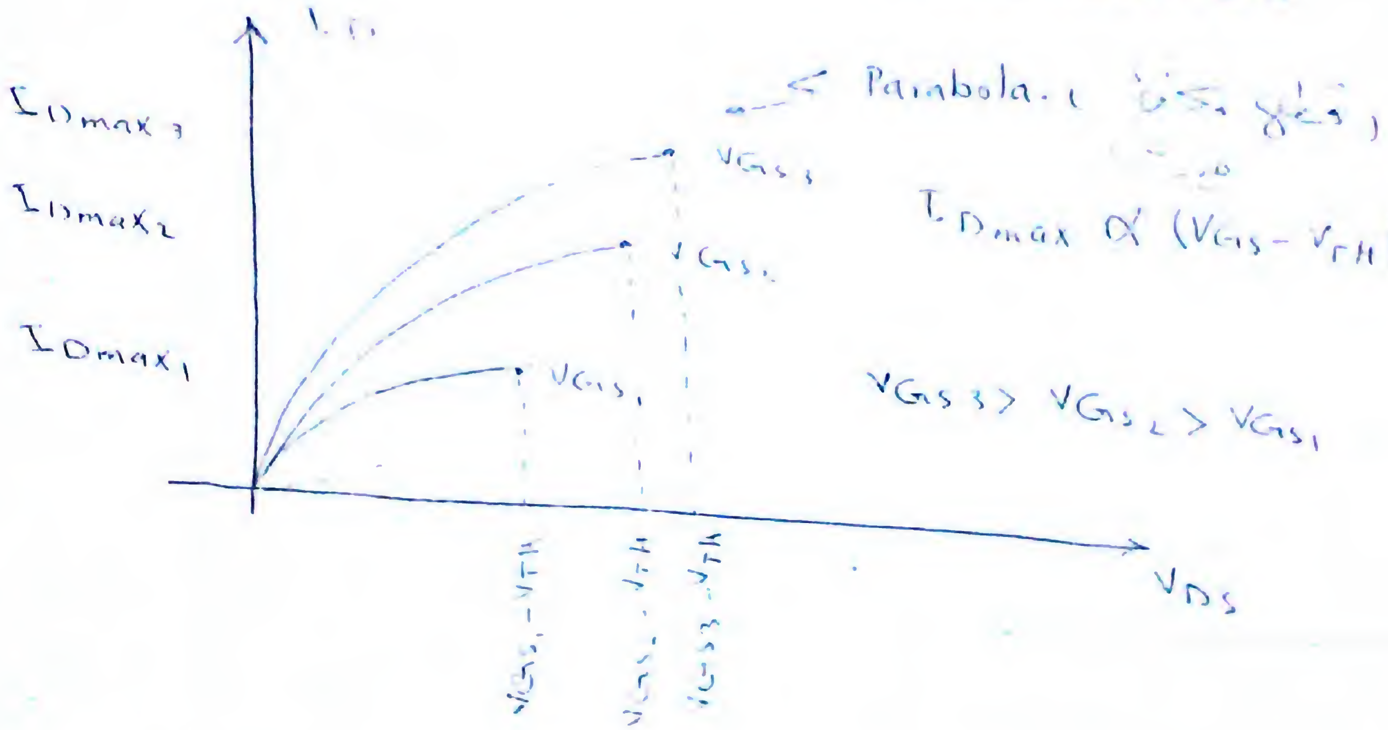
Plot $I_D - V_{DS}$ characteristics for different values of V_{GS}.

<u>Solution</u>

$\because I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} [2(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - V_{DS}^2]$

$\therefore I_{D\max} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$

$\therefore V_{GS}$ increased $\therefore I_{D\max}$ increased



$I_{D\max} \propto (V_{GS} - V_{TH})^2$

$V_{GS3} > V_{GS2} > V_{GS1}$

لاحظ أن العلاقة بين I_D ، V_{DS} علاقة غير خطية لذلك لا يمكن

تمثيل MOSFET كمقاومة

if $V_{DS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$

$\therefore (V_{DS})^2$ is very small

$$\therefore I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} \times 2(V_{GS}-V_{TH})V_{DS}$$

$$\therefore I_D = \mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{TH})V_{DS}$$

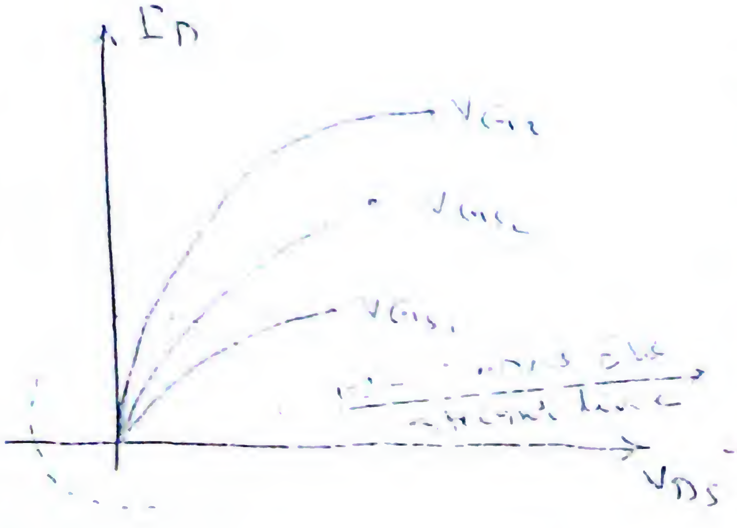
نلاحظ ان العلاقه بين I_D و V_{DS} علاقه خطيه

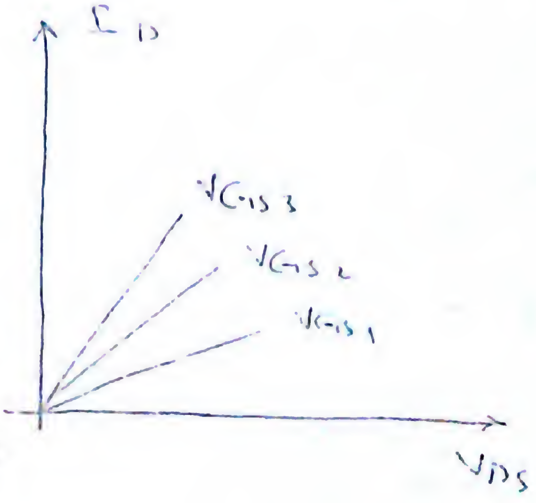
$$\therefore R_{on}(\text{on transistor}) = \frac{V_{DS}}{I_D}$$

$$\therefore R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{TH})}$$

نلاحظ ان الـ MOSFET هنا يعمل [illegible] عند V_{DS} صغير جداً

الا بعض المنحنى الأول [illegible] I_D و V_{DS} لأنه خطي





Note:

عندما تكون (R_{on}) لانهائية عند $V_{GS} = V_{TH}$

$\therefore R_{on} = \infty$

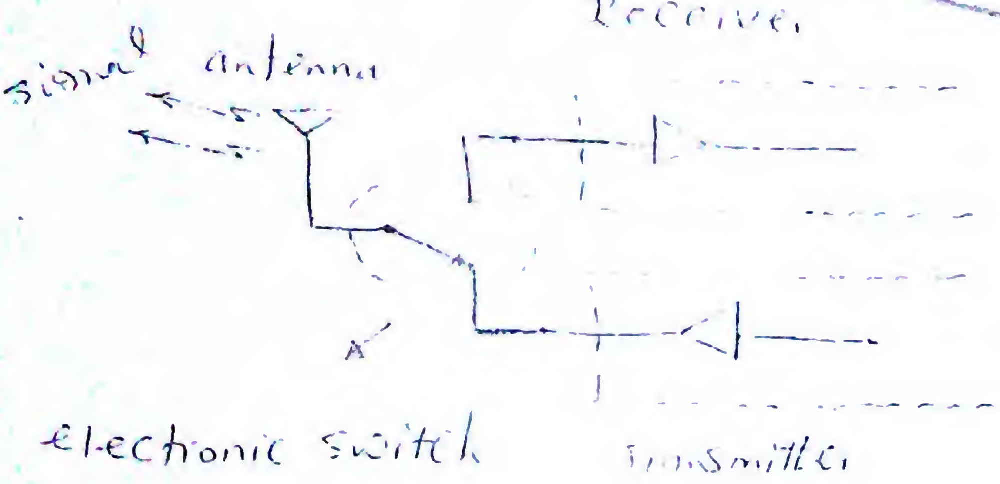
$\therefore$ MOSFET operating as electronic switch

لذلك ممكن أن يعمل MosFET كـ switch

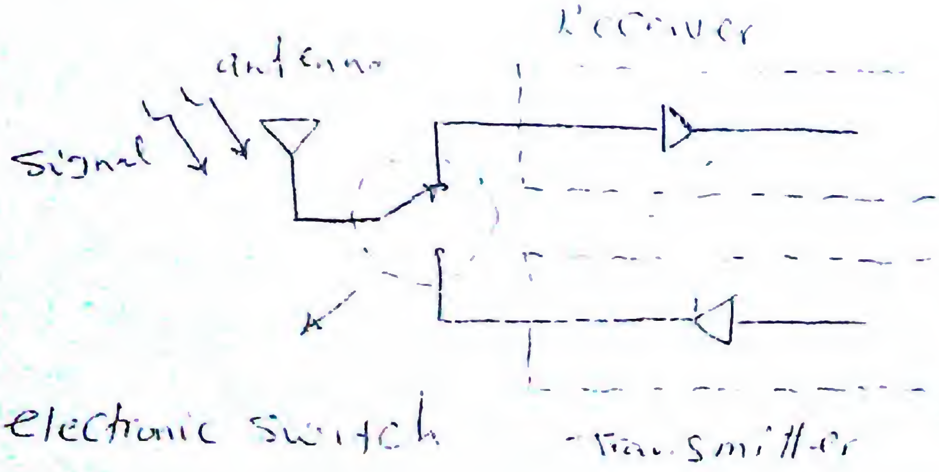
Ex.1.4 → مثال توضيحي

a Corelless Phone incorporates (يدمج) a single antenna for reception and Transmission. Explain how the system must be Configured.

Solution



هذا system مهم
كي أن (Phone)
ليستقبل الإشارات
[illegible]
[illegible] كل 20ms.



يتم استخدام MosFET لهذا الغرض [illegible] (switch)

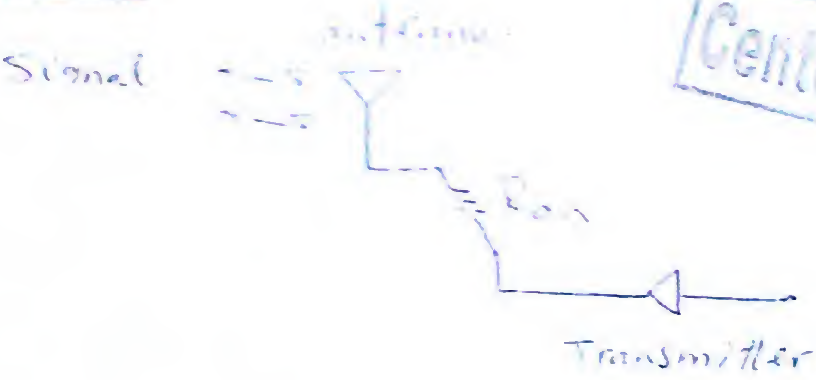
ولأنه [illegible] low resistivity.

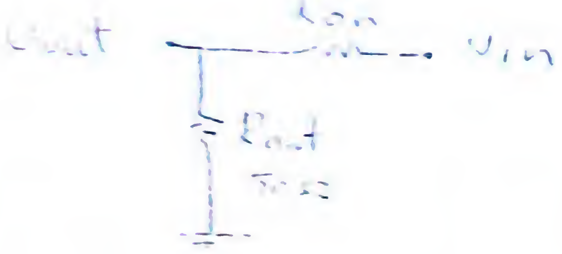
وذلك بتغيير [illegible] $R_{on}\downarrow \Longleftarrow V_{GS}\uparrow , W/L\uparrow$

EX.1.5

in the cordless phone of example 1.4 the switch connecting the transmitter to the antenna must attenuate the signal, e.g by no more than 10%. if $V_{DD} = 1.8\,V$, $\mu_n C_{ox} = 100\,\mu A/V^2$ and $V_{TH} = 0.4\,V$, determine the minimum required aspect ratio of the switch. assume the antenna can be modeled as a 50 Ω resister.

Solution





$\therefore$ attenuation $\leq$ 10%

$$\therefore \frac{V_{out}}{V_{in}} \geq 0.9$$

$$\therefore V_{out} = V_{in} * \frac{R_{ant}}{R_{ant} + R_{on}}$$

$$\therefore \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_{out}}{R_{out} + R_{on}}$$

$$\therefore \frac{R_{out}}{R_{out} + R_{on}} \geq 0.9$$

$$\Rightarrow R_{out} \geq 0.9 (R_{out} + R_{on})$$

$$\therefore 0.1 R_{out} \geq 0.9 R_{on}$$

$$\therefore R_{on} \leq \frac{0.1 R_{out}}{0.9}$$

$$\therefore R_{out} = 50 \Omega$$

$$\therefore R_{on} \leq 5.6 \Omega$$

$$\therefore R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})}$$

$$R_{on} \downarrow \quad \therefore V_{GS} \uparrow = V_{DD} = 1.8 V$$

$$\therefore R_{on} = \frac{1}{100 \times 10^{-6} \times \frac{W}{L} (1.8 - 0.4)}$$

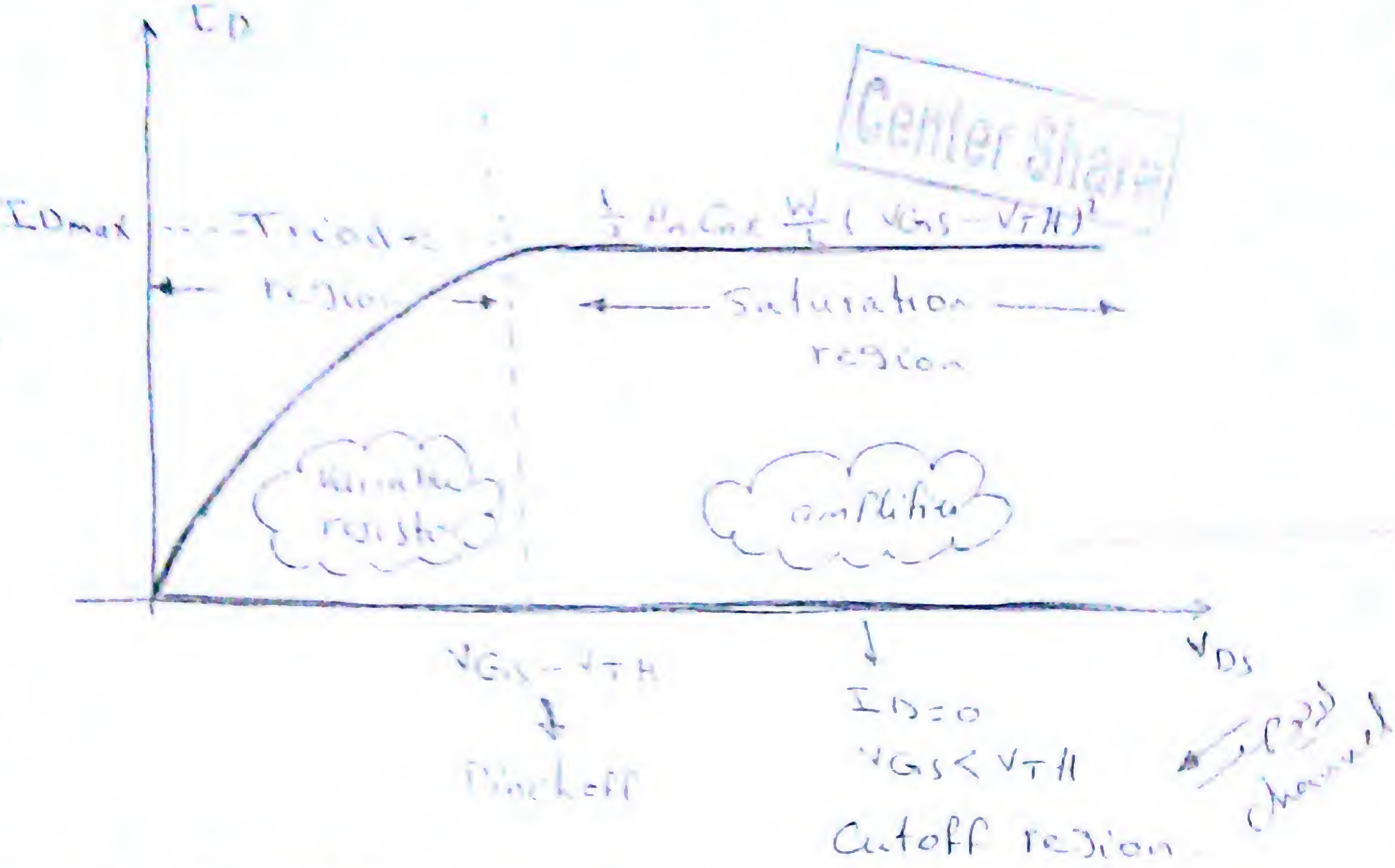
$$\therefore \frac{1}{100 \times 10^{-6} \times \frac{W}{L} (1.8 - 0.4)} \leq 5.6 \Omega$$

$$\therefore 1 \leq 7.84 \times 10^{-4} \, W/L$$

$$\therefore W/L \geq 1276 . \quad \therefore W/L_{(min)} = 1276$$

⇒ Triode and Saturation regions

∴ $I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}\left[2(V_{GS}-V_{TH})V_{DS}-V_{DS}^2\right]$



*** MOSFET operate in Triode region or linear region when $V_{DS} < (V_{GS}-V_{TH})$

→ • if $V_{DS} \ll 2(V_{GS}-V_{TH})$ Called MOSFET in deep Triode region and operate as resistor

$$R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{TH})}$$

*** MOSFET operate in Saturation region

When $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$ and MOSFET drain current becomes constant or reaches saturation

[illegible] (saturation) [illegible] MOSFET [illegible]

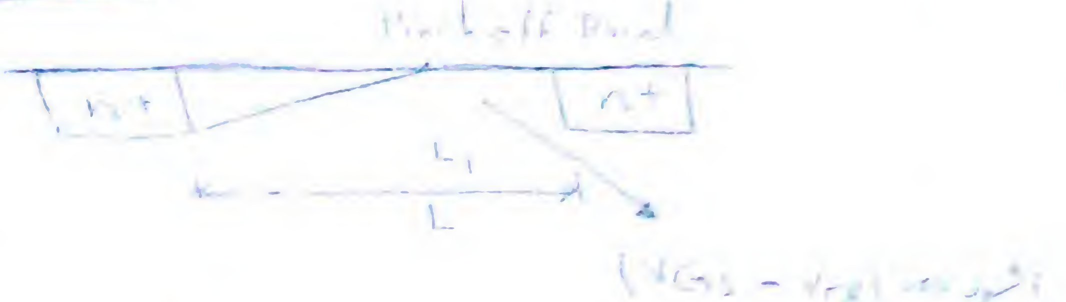
[illegible] Drain

- If $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$ → MOSFET (Pinch off)

If V_{DS} increased the Pinch off Point shift toward the drain

[illegible] Pinch off [illegible]

(Drain) [illegible] Pinch off Point



[illegible] I_D [illegible]

$$\int_{x=0}^{L_1} I_D\,dx = \int_{V(x)=0}^{V(x)=V_{GS}-V_{TH}} \mu_n C_{ox} W \left[V_{GS} - V(x) - V_{TH} \right] dV(x)$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L_1}\left[V_{GS} - V_{TH} \right]^2 .$$

[illegible] VDS [illegible] ID [illegible]

(ثابت) [illegible] saturation region [illegible] Pinch off

ID independent of VDS

if L ≫ L₁

∴ IDS (Drain saturation Current) = IDmax

Note

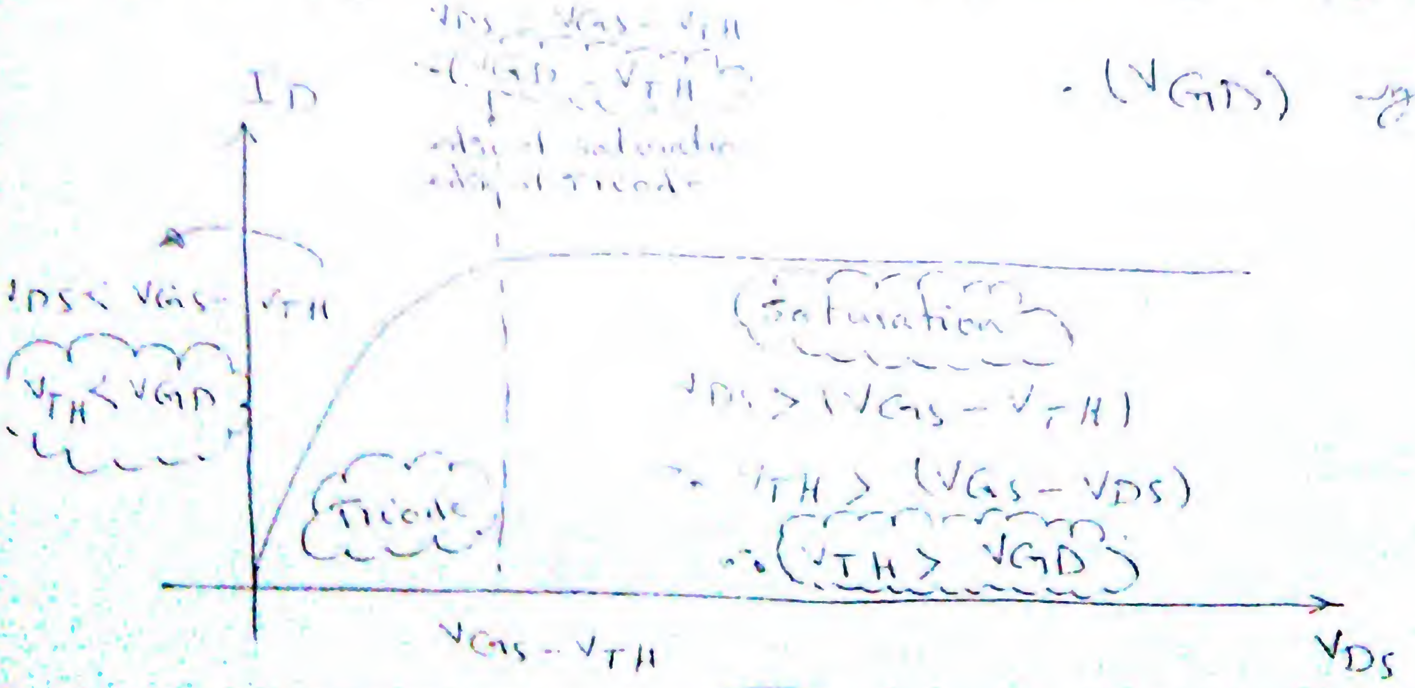
(VGS − VTH) called (overdrive voltage)

Note:

MOSFET sometimes called (square law) device where ID ∝ (overdrive voltage)²

⇨ determine the region of operation

[illegible] (MOSFET) [illegible] (VGD).



- MOSFET $\Longrightarrow$ Saturation region

  $V_{GD} < V_{TH}$, $V_{GS} > V_{TH}$

- MOSFET $\Longrightarrow$ edge of saturation or edge of Triode

  $V_{GD} = V_{TH}$, $V_{GS} > V_{TH}$

- MOSFET $\Longrightarrow$ Triode region

  $V_{GD} > V_{TH}$, $V_{GS} > V_{TH}$

- MOSFET $\Longrightarrow$ Cutoff region

  $V_{GS} < V_{TH}$ No channel

- MOSFET $\Longrightarrow$ deep Triode region

  $V_{DS} \leqslant 2(V_{GS} - V_{TH})$, $V_{GS} > V_{TH}$

* MOSFET in saturation region operating as current source with current I_{Dmax}.

(Saturation) لو MOSFET current source يبقى

يدي I_{Dmax}.

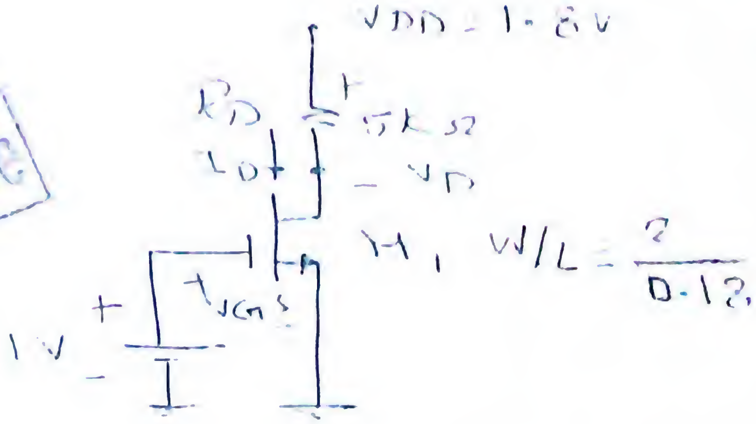
$$I_{Dmax} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$\therefore V_{GS} \uparrow \quad \therefore I_D \uparrow$

$\therefore$ MOSFET called Voltage Controlled Current Source.

Ex. 1-6

Calculate the bias current of M_1 in fig. Assume the $\mu_n C_{ox} = 100\,\mu A/V^2$ and $V_{TH} = 0.4\,V$ if the gate voltage increases by 10 mV. What is the change in the drain voltage ?



Solution

لازم نفترض أولاً عن طريق معادلة تيار [illegible] ثم نتحقق

assume M_1 in saturation region.

$V_{GS} = 1\,V$

$$\therefore I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$\therefore I_D = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times \frac{2}{0.18}(1 - 0.4)^2 = 200\,\mu A$$

لابد من إختبار الفرض السابق

∴ $V_D = V_{DD} - I_D \times R_D$

∴ $V_D = 1.8 - 200\mu A \times 5K\Omega = 0.8V$

∴ $V_{GD} = 1 - 0.8 = 0.2 < V_{TH}$

∴ MOSFET in saturation region.

- if $V_G = 1 + 10mV = 1.01V$

assume M_1 in saturation region

∴ $I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS} - V_{TH})^2$

∴ $I_D = \frac{1}{2}\times 100\times 10^{-6}\times\frac{2}{0.18}(1.01 - 0.4)^2$

∴ $I_D = 206.7\mu A$

∴ $V_D = V_{DD} - I_D \times R_D$

∴ $V_D = 1.8 - 206.7\mu A \times 5K = 0.766V$

∴ $V_{GD} = (\overset{V_G}{1} - \overset{V_D}{0.766}) < V_{TH}$

∴ M_1 in saturation region.

chang in V_D

$= 0.8 - 0.766 = 34mV$.

مقارنات بسيطة بين مميزات كل من MOSFET ، BJT

BJT	MOSFET
edge of active or saturation $V_{BC} = 0$ or $V_{BE} = V_{CE}$	edge of saturation or Triode region $V_{GD} = V_{TH}$ or $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$
$I_C - V_{BE}$ the relation is exponential	$I_D - V_{GS}$ the relation square law.
in all BJT circuit have same dimentions	aspects ratio of each MOSFET may be chosen To satisfy the requirements
the Rin very low for Rin of MOSFET	the gate of MOSFET Draw no bias Current so that Rin is very high

MOSFET

[illegible] Power ↓

[illegible]